ANÁLISIS EXPERIMENTAL PARA UN MODELO DE PROPAGACIÓN DE LA TELEFONÍA MÓVIL DE LA UNIVERSIDAD MILITAR

EXPERIMENTAL ANALYSIS FOR A PROPAGATION MODEL OF THE MOBILE TELEPHONY MILITAR UNIVERSITY

Luis Fernando, Pedraza Martínez
Ing. Electrónico, M.Sc., Profesor Asistente, Facultad de Tecnología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Grupo de Investigación Teletecno, Bogotá, Colombia.
E-mail: lfpedrazam@udistrital.edu.co

César Augusto, Hernández Suárez
Ing. Electrónico, M.Sc., Profesor Asistente, Facultad de Tecnología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Grupo de Investigación Armos, Bogotá, Colombia. E-mail: lctsubasa@gmail.com

Dora María, Ballesteros Larrotta
Ing. Electrónico, M.Sc., Profesor Asistente, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. E-mail: doramaria02@gmail.com

Fecha de recepción: *5 de agosto de 2009*
Fecha de aprobación: *27 de octubre de 2009*

RESUMEN

En este artículo se presenta el hallazgo de un modelo de propagación de exterior-interior para la telefonía móvil de la Universidad Militar, realizando mediciones de la potencia recibida a lo largo del interior de los bloques de la Universidad, a partir de una estación base que se encuentra emitiendo en el techo del Bloque E de la Universidad. Las mediciones de potencia de la señal se realizan en la banda de GSM 850 de Comcel, usando para ello el teléfono celular OT-C717A de marca Alcatel y el software Catcher. El resultado de esta investigación es un modelo de propagación con un margen de error menor al 10% para la señal de Comcel en la Universidad Militar.

Palabras clave: Estación Base, Celda, Móvil, Propagación, Sensibilidad.

ABSTRACT

This paper brings up the finding of an outdoor-indoor propagation model for mobile telephones at the Universidad Militar by measuring power received inside of the University

blocks from a base station emitting on the Block E roof. Power signal measurements are carried out in Comcel GSM 850 band using an Alcatel mobile phone OT-C717A and the Catcher software. The result of this research is a propagation model with an error margin lesser than 10% for Comcel signal at the Universidad Militar.

Keywords: base station, cell, mobile, propagation, threshold.

INTRODUCCIÓN

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características de radio de un ambiente dado.

Generalmente los modelos de predicción se pueden clasificar en empíricos o estadísticos, teóricos o determinísticos o una combinación de estos dos (semi-empíricos).

Mientras que los modelos empíricos se basan en mediciones, los modelos teóricos se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio. Los modelos de propagación predicen la pérdida por trayectoria que una señal de RF pueda tener entre una estación base y un receptor móvil o fijo. La ventaja de modelar radiocanales teniendo en cuenta las características de la trayectoria entre Transmisor (Tx) y Receptor (Rx), es conocer la viabilidad de los proyectos que se deseen planear en determinados sectores, de esta manera se podrá hacer una estimación acerca de la necesidad, costos y capacidad de los equipos requeridos [1].

En [2] se presenta la estimación de cobertura usando modelos de propagación dentro de la Universidad de Liverpool, en [3] se presenta una comparación de los modelos mas usados, en un entorno multicamino y en [4] se evalúan las pérdidas a diferentes frecuencias que presentan las paredes del edificio del Instituto de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Stuttgart. Por lo tanto, la intención de este artículo es presentar un modelo de propagación exterior-interior que determina las pérdidas de propagación en las edificaciones de la Universidad Militar. A continuación se da una breve reseña de algunos de los modelos usados para el hallazgo de las pérdidas de propagación.

1. MODELOS DE PROPAGACIÓN

Inicialmente se hace una breve reseña de los criterios para la clasificación de los modelos de propagación, como se presenta en la figura 1.

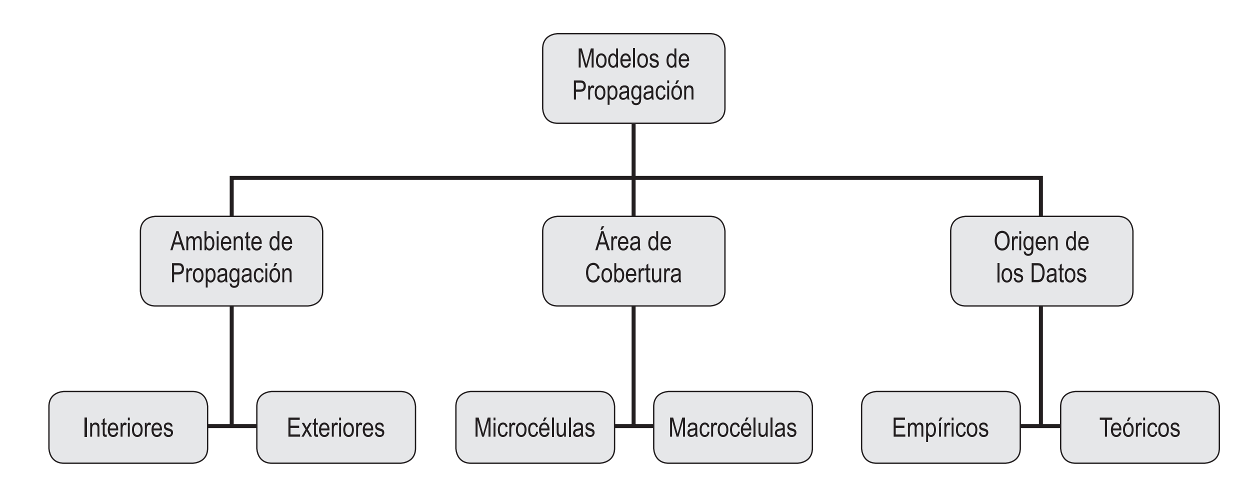


Figura 1. Clasificación de los modelos de propagación [5]

Dentro de los modelos que se usan en el estudio de entornos móviles, en general predominan los de No Línea de Vista, aunque no se deben descartar los de Línea de Vista. En general se basan todos ellos en medidas experimentales. Dentro del método COST 231(método usado para entornos exteriores) [6], se han propuesto modelos de análisis simplificados como los descritos a continuación.

1.1. MODELO DE PENDIENTE ÚNICA

Este es el modelo de referencia a usar en este artículo, para predecir las pérdidas en el entorno:

$$L(dB) = L_0 + 10n\log d(m) \qquad (1)$$

Donde L_0 y n dependen de la frecuencia y del entorno de propagación, y d(m) es la distancia en metros, con valores calculados para minimizar el error cuadrático medio de los valores medidos experimentalmente [7].

1.2. MODELO DE MÚLTIPLES PAREDES

Este modelo precisa datos reales y exactos del entorno para deducir resultados fiables. Es un modelo completamente empírico, que parte del modelo de Motley:

$$L(dB) = L_0 + 10n\log d + \sum_{i=1}^{I} K_{fi} L_{fi} + \sum_{j=1}^{J} K_{wj} L_{wj} \qquad (2)$$

Donde:
d es la distancia en metros, *n* es el indicador de la variación de potencia con la distancia, L_0 es la referencia de pérdidas a 1m de distancia, L_{fi} es el factor de pérdidas por

piso tipo i, L_{wj} es el factor de pérdidas por pared tipo j, K_{fi} número de piso tipo i atravesados, K_{wj} número de paredes tipo j atravesadas [8].

1.3. MODELO UIT-R 8/1

En este modelo la expresión a considerar es:

$$L(dB) = L_0 + 10n\log d + L_f(n) \qquad (3)$$

Donde, L_f es el factor de pérdidas de penetración en paredes y suelos obtenido a partir de $L_f(n)=15+4(n-1)$, siendo n el número de plantas entre transmisor y receptor [9] y [10].

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE PROPAGACIÓN

Para el hallazgo de la ecuación del modelo de propagación, se parte de la ecuación del enlace:

$$Gs = PTx - PRx \text{ (dB)} \qquad (4)$$

Donde:

Gs = Ganancia del sistema,
PTx = Potencia del transmisor,
PRx = Potencia del receptor.

Luego:

$$G = GTx + GRx \text{ (dBi)} \qquad (5)$$

Donde:

G = Ganancia de las antenas,
GTx = Ganancia de la antena de transmisión,
GRx = Ganancia de la antena de recepción.

Y como:

$$Md \text{ (dB)} = \text{Ganancias (dB)} - \text{Pérdidas (dB)} \qquad (6)$$

Donde:

Md es el Margen de desvanecimiento, el cual se define como la diferencia en dB entre el nivel de la potencia recibida PRx y el nivel mínimo de potencia que asegura una legibilidad en la llamada (sensibilidad) [11]. Y si se tiene:

$$\text{Ganancias} = (dB) = Gs\ (dB) + G\ \ (dBi) \qquad (7)$$

Y además:

$$L\ (dB) = Lc\ (dB) + Lp\ (dB) \qquad (8)$$

Donde:

L = Pérdidas del sistema.
Lc = Pérdidas en cables y conectores.
Lp = Pérdidas por propagación.

Para el equipo celular cuya antena está integrada directamente en el hardware, las pérdidas en cables y conectores no aplican, así que solo se tendrían en cuenta las pérdidas en cables y conectores de la Estación Base (BTS). Reemplazando (4), (5) y (8) en (6), se tiene:

$$Lp\ (dB) = PTx - PRx + G - Lc - Md \qquad (9)$$

A partir del modelo de pendiente única se tiene entonces:

$$Lp\ (dB) = 10\ \log(kd)^n \qquad (10)$$

Donde:

d = Distancia entre transmisor y receptor,
n = Pérdida por trayectoria,
k = Factor dependiente de la propagación en el espacio libre.

Desarrollando (10) se tiene:

$$Lp\ (dB) = 10\ n\ \log(d) + 10\ n\ \log(k) \qquad (11)$$

Realizando un cambio de variables (11) se convierte en:

$$Lp\ (dB) = C1\ \log(d) + K1 \qquad (12)$$

Donde:

C1= 10n
K1= 10nlog(k)

Ahora se puede expresar (12) en una forma que pueda resultar útil más adelante, sabiendo que:

$$\mathrm{Log}_{10}(d) = \ln(d) / \ln(10) \qquad (13)$$

Por lo tanto, de (13) en (12):

$$Lp\,(dB) = C2 \ln(d) + K1 \qquad (14)$$

Donde:

$$C2 = C1 / \ln(10) = 10n / \ln(10) \qquad (15)$$

Con lo que se consigue:

$$n = C2 \ln(10) / 10 \qquad (16)$$

y,

$$k = 10^{K1/10n} \qquad (17)$$

3. RESULTADOS

Inicialmente se ubican las BTS que se encuentran alrededor de la Universidad Militar sede Calle 100 para observar cual presenta mejor cobertura en la zona de las edificaciones, como se observa en la figura 2, luego se usa el software Catcher para medir la potencia de recepción (figura 3) en los Bloques B, C, D y E de la Universidad, que poseen una estructura como la mostrada en la figura 4.

Adicionalmente, con este software se puede obtener el identificador de celda de la BTS, lo que permite indicar con que BTS el móvil tiene mejor nivel de recepción, que para este caso es la BTS situada en la calle 100, las características de esta BTS se presentan en la tabla 1.

Teniendo en cuenta la potencia mínima y máxima de transmisión de la BTS, dadas en la tabla 1 y la ubicación del móvil dentro del radio de la celda, la potencia a la que transmite la BTS en este punto es de alrededor de 17 dBm [12].



Figura 2. Estaciones base ubicadas alrededor de Universidad Militar

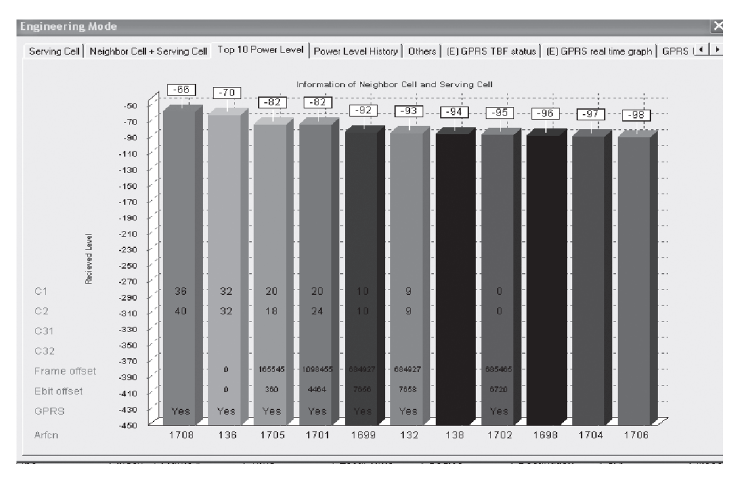


Figura 3. Medición de potencias de las BTS con mayor nivel de transmisión, usando el software Catcher

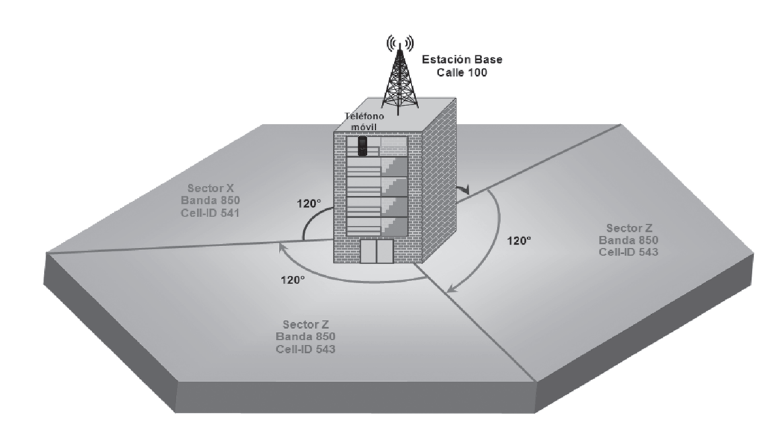


Figura 4. Bloque E de la Universidad Militar

Tabla 1. Características técnicas de la BTS Calle 100

CALLE 100	
Lon -74°2'30,04" Lat 4°40'58,84"	
Sector	X
Banda	850 MHz
Cell_Id	541
Canal control	136
Altura	2585 m
Radio cobertura	3.65 Km
Ganancia de la antena	17 dBi
Potencia minima de transmisión	13 dBm
Potencia máxima de transmisión	33 dBm
Saltos de potencia	±2 dB
Pérdidas cables/conectores	4 dB

En la figura 5, se presenta la potencia recibida en un móvil, aquí un gran porcentaje de señales estarían por debajo de la sensibilidad del móvil (-102 dBm), ver tabla 2, en promedio en un intervalo de 10 dB. Por lo tanto, para compensar estos desvanecimientos se toma un Md =10 dB.

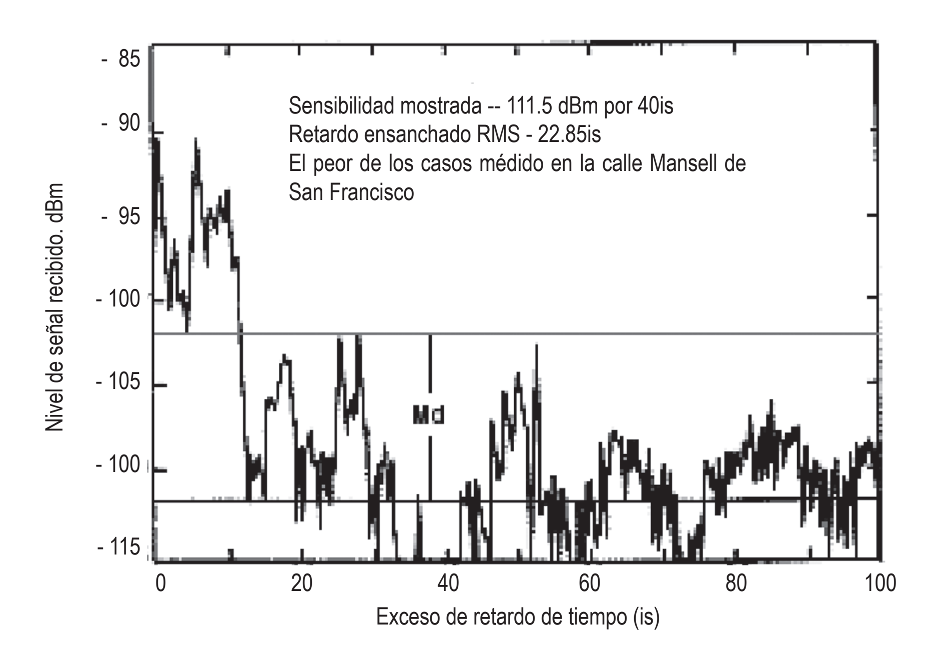


Figura 5. Medición de potencia para un canal multicamino a una frecuencia de 900 MHz en un sistema celular en la ciudad de San Francisco.[13]

Tabla 2. Características técnicas del teléfono celular OT-C717A

Sensibilidad del móvil	-102 dBm
Ganancia de la antena	0,5 dBi

En cada columna de la tabla 3 se observan las distancias tomadas con ayuda de un GPS, las potencias promedio de cinco muestras recibidas, la desviación estándar de estas potencias y las pérdidas obtenidas de la ecuación (9), con los datos planteados en las tablas 1 y 2.

Tabla 3. Pérdidas obtenidas de la ecuación de enlace

Distancia (m)	Prx (dBm)	Desviación estándar de las Prx	Pérdida con ecuación de enlace (dB)
11,53	-35	2,3	51,5
18,47	-39	1,52	55,5
23,7	-43	1,78	59,5
24,41	-45	2,4	61,5
29,05	-58	1,21	74,5
37,21	-59	1,06	75,5
39,45	-54	0,83	70,5
42,63	-69	2,08	85,5
46,83	-65	1,26	81,5
50,82	-78	0,97	94,5
53,88	-76	1,84	92,5
56,19	-81	1,42	97,5

A partir de la los datos arrojados por la tabla 3, se grafican las pérdidas obtenidas con la ecuación de enlace y se realiza la línea de tendencia logarítmica, como se ve en la figura 6. De aquí también se observa que los datos de desviación estándar indican que se posee una distribución muy homogénea, lo cual es deseable para el hallazgo del modelo. De esta línea de tendencia logarítmica, se encuentran los valores de la ecuación (14), donde: C2 = 19.249 y K1= 42.939.

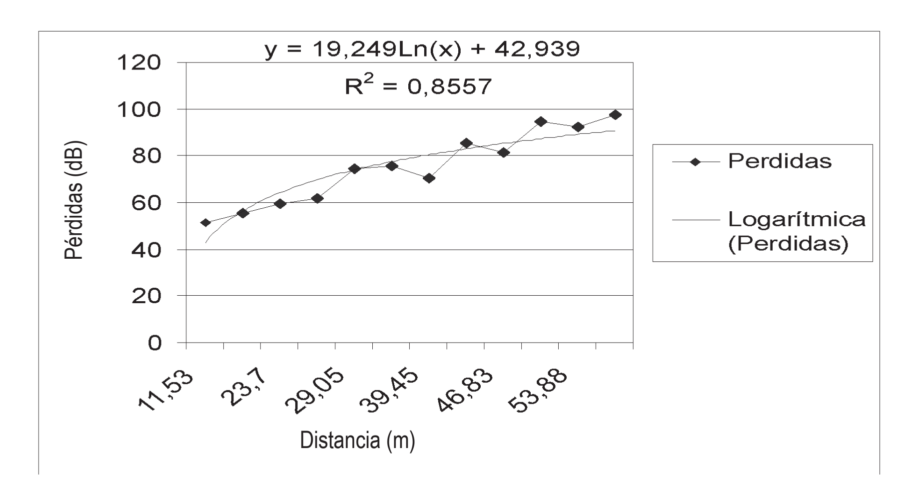


Figura 6. Gráfica de pérdidas de ecuación de enlace y ecuación logarítmica

Reemplazando estos valores en las ecuaciones (16) y (17), se llega a n = 4.432 y k = 9.306, por lo que el modelo de pendiente única, para los bloques de la Universidad Militar, es:

$$Lp\ (dB) = 10 \log (9.306d)^{4.4.32} \qquad (18)$$

A partir de la ecuación (18), se obtienen las pérdidas con el modelo logarítmico, mostradas en la tabla 4.

Tabla 4. Pérdidas con modelo logarítmico de pendiente única

Distancia (m)	Pérdida con modelo logarítmico (dB)
11,53	90,00188748
18,47	99,07192889
23,7	103,87122920
24,41	104,43941803
29,05	107,78923679
37,21	112,55450111
39,45	113,67973038
42,63	115,17199338
46,83	116,98074092
50,82	118,55465378
53,88	119,68013076
56,19	120,48819326

4. EVALUACIÓN DEL MODELO

Una vez diseñado el modelo de propagación una forma de evaluarlo es determinar el grado de precisión de éste, por tal razón se analizaran algunos criterios estadísticos de significancia, como son:

- Coeficiente de Correlación
- Parsimonia
- Calidad de Ajuste.
- Error Cuadrático Medio
- Desviación Estándar en Valor Absoluto.

4.1. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

El coeficiente de correlación determina el grado de asociación entre dos variables, por lo tanto a partir de éste se puede calcular en qué porcentaje la variable independiente explica la variable dependiente. Con la ecuación 19 se determina el coeficiente de correlación.

$$R = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (19)$$

Donde:

σ_{XY} = Covarianza de (X,Y),
σ_X = Desviación estándar de X,
σ_Y = Desviación estándar de Y.

Al calcular el coeficiente de correlación entre la variable independiente “distancia” y la variable dependiente “pérdidas” se obtuvo como resultado R= 0.9325, lo cual indica que la variable distancia explica en un 93.25% la variable pérdida, es decir, que sí es posible encontrar un modelo matemático que relacione las dos variables, lo cual valida los resultados obtenidos hasta ahora.

4.2. CALIDAD DE AJUSTE

La calidad de ajuste de un modelo está definida como la suma de los cuadrados de los residuos dividida por el tamaño de la muestra, y su objetivo es medir la habilidad del modelo para reproducir los datos de la muestra, es decir verifica que tan parecida es la serie modelada con la real [14]. En la tabla 5 se muestra el valor de la calidad de ajuste para el modelo de propagación desarrollado.

4.3. ERROR CUADRÁTICO MEDIO

Para esta investigación se decidió calcular el error cuadrático medio como el promedio del cuadrado de las desviaciones estándares de los valores estimados con respecto a los originales, con el fin de obtener un valor cuantitativo de la exactitud del modelo, ya que por definición el error cuadrático medio tendría el mismo valor del criterio calidad de ajuste, el cual no nos dice qué tan eficaz es el modelo, sólo nos permite compararlo con otros. El resultado cuantitativo del error cuadrático medio se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Evaluación del Modelo de Propagación

Criterios Estadísticos	Modelo de Propagación
Coeficiente de Correlación	0.9325
Calidad de Ajuste	404.6
Error Cuadrático Medio	14535.35
Desviación Promedio Estándar en Valor Absoluto	13.11

4.4. DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN VALOR ABSOLUTO

Debido a que el promedio de las desviaciones estándares de cada dato estimado no es significativamente objetivo en razón a que puede tomar valores positivos como negativos que afectan el resultado final, y a que tanto el error cuadrático medio como la calidad de ajuste castigan muy fuerte a los errores absolutos grandes, se decidió tomar el promedio del valor absoluto de las desviaciones estándares de cada dato, cuyo resultado se muestra en la tabla 5.

5. EVALUACIÓN EX-POST DEL MODELO

En realidad se puede sostener la tesis de que un modelo es realmente útil solo en la medida que anticipa la evolución de la variable explicada. En este sentido se está aceptando que se espere a que vengan las futuras observaciones para después analizar la calidad del modelo. Esto se denomina una evaluación ex-post, y es una validación más fuerte en el sentido común, que el análisis de residuos [15].

Tabla 6. Evaluación Ex-Post del Modelo de Propagación

Criterios Estadísticos	Modelo de Propagación
Coeficiente de Correlación	0.933
Calidad de Ajuste	451.75
Error Cuadrático Medio	15531.93
Desviación Promedio Estándar en Valor Absoluto	13.95

Para el modelo se pronosticaron cinco datos de pérdidas que fueron respectivamente comparados con los datos originales que no se tuvieron en cuenta para la realización del modelo. A pesar de la cantidad de muestras la tabla 6 muestra la exactitud de los pronósticos en función de los estadísticos descritos anteriormente.

6. CONCLUSIONES

Un estudio de propagación, permite a un operador de telefonía móvil analizar la calidad de recepción de una señal dentro de una edificación y acondicionar sus BTS para mejorar la cobertura en el entorno, y así garantizar que la potencia promedio de recepción se mantendrá por encima de la sensibilidad del móvil.

La propagación multicamino, así como la atenuación dada por los objetos interpuestos entre el móvil y la BTS, como paredes y suelos, hace que en dados casos el móvil aunque se encuentre a distancias más cercanas a la BTS, posea menores niveles de recepción instantánea.

Las potencias recibidas por el operador de telefonía móvil en este entorno como se observa en la tabla 3, indica que los niveles de recepción son adecuados, ya que todos superan la sensibilidad del móvil celular.

Como trabajo futuro se recomienda la comparación con otros modelos de propagación de exterior-interior y verificar cual se ajusta mejor a las condiciones del entorno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Garcia J. C.; Rodriguez O. A.; Castillo J. L.; Desempeño de Modelos de Propagación en Comunicación Móvil para la zona de Caldas Parte 1: Modelos para áreas urbanas. X Congreso Internacional de Telecomunicaciones. Valdivia, Chile. 2002.

[2] De Toledo F.; Estimating coverage of radio transmission into and within buildings at 900, 1800, and 2300 MHz, IEEE Personal Communications, vol. 5(2), pp 40-47, Apr. 1998.

[3] Aurand J. F.; Post R. E.; A Comparison of Prediction Methods for 800-MHz Mobile Radio Propagation, IEEE Trans. on Vehicular Tech., Nov. 1985, pp. 149-153.

[4] Hoppe R.; Wolfle G.; Landstorfer F. M.; Measurement of building penetration loss and propagation models for radio transmission into buildings, IEEE Veh. Technol. Conf., vol. 4, 1999, pp. 2298–2302.

[5] Marante Francisco; Torres Reinel; Rodríguez Ernesto. Aproximación al estudio de modelos para la caracterización del canal de radio en comunicaciones móviles de 2.5G y 3G. V Congreso Internacional de Telemática y Telecomunicaciones (CIT-TEL 2008). La Habana, Cuba. Diciembre de 2008.

[6] Marvin K. Simon; Alouini Mohamed. Digital Communication over Fading Channels. Second Edition. Editorial JOHN WILEY & SONS. 2005.

[7] Sklar Bernard. Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems Part I: Characterization. IEEE Communications Magazine 35 (7): 90 –100. July, 1997.

[8] Goldsmith Andrea. Wireless Communications. Cambridge University Press. 2005.

[9] Stuber Gordon. Principles of Mobile Communication. Second Edition. Kluwer Academic Publisher. pp. 108-112. 2006.

[10] Sendin Escalona, Alberto. Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles. Evolución y tecnologías, 2004. Mc Graw Hill, España. ISBN: 84- 481-4027-3.

[11] Garcia Néstor. “Modelo de cobertura en redes inalámbricas basado en radiosidad por refinamiento progresivo”, tesis doctoral. Universidad de Oviedo, Departamento de Informática. Marzo, 2006.

[12] Telefónica Móviles. Manual de Instalación de una BTS GSM. Movistar S.A, 2007.

[13] Andersen J. B.; Rappaport T. S. and S. Yoshida. Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels. IEEE Communications Magazine, vol. 33, pp. 42-49. January 1995.

[14] Guerrero Guzmán, Víctor Manuel. Análisis estadístico de series de tiempo económicas. Segunda edición. México: Editorial Thomson, 2003.

[15] Dethe, Chandrashekhar y Wakde D.G. On the prediction of packet process in network traffic using FARIMA time series model. Department of Electronics, College of Engineering, India. 2003.